



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CAMPUS PROF. ANTÔNIO GARCIA FILHO
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA DE LAGARTO - DOL**

MARIANNA MATOS SOUZA
LEONARDO DOS SANTOS

**ORTOGONBLENDER: GUIA PRÁTICO PARA O USO DO SOFTWARE LIVRE NA
CIRURGIA ORTOGNÁTICA**

LAGARTO- SE
2018

MARIANNA MATOS SOUZA
LEONARDO DOS SANTOS

**ORTOGONBLENDER: GUIA PRÁTICO PARA O USO DO SOFTWARE LIVRE NA
CIRURGIA ORTOGNÁTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Odontologia da
Universidade Federal de Sergipe, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Cirurgião-Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Luiz de Freitas

LAGARTO - SE
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIANNA MATOS SOUZA
LEONARDO DOS SANTOS

ORTOGONBLENDER: GUIA PRÁTICO PARA O USO DO SOFTWARE LIVRE NA CIRURGIA ORTOGNÁTICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Odontologia da
Universidade Federal de Sergipe como requisito
parcial para obtenção do grau de Cirurgião-
Dentista.

Apresentado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Luiz de Freitas

Prof. Gustavo Almeida Souza

Saulo Mariano dos Reis

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar as funcionalidades do add-on OrtogOnBlender - um complemento do software de código aberto Blender - para o planejamento virtual de cirurgias ortognáticas. A visualização, manipulação e criação de objetos tridimensionais (3D) por meios computacionais ofereceu ao cirurgião buco-maxilo-facial a oportunidade de 1) planejar cirurgias com modelos virtuais, 2) fabricar guias cirúrgicos baseados no conceito de desenho assistido por computador/manufatura assistida por computador (CAD/CAM) e 3) estimar resultados pós-cirúrgicos tridimensionalmente, facilitando as escolhas cirúrgicas e a comunicação com os pacientes. Apesar das vantagens do planejamento virtual em cirurgia ortognática e implantodontia, os softwares utilizados para tal fim são usualmente de código fechado, têm custo elevado e oferecem recursos relativamente limitados no tocante à customização de osteotomias e à alternância entre funcionalidades (módulo ortognática vs. módulo implantodontia, por exemplo). Embora as ferramentas nativas do Blender - um software livre de animação gráfica baseado na linguagem computacional Python - sejam projetadas para projetos de computação gráfica, o add-on OrtogOnBlender foi desenvolvido de forma colaborativa e possibilita 1) a conversão de arquivos em formato de arquivo digital (DICOM) para modelos estruturas virtuais 3D, 2) a criação de um objeto 3D texturizado que mimetiza a face do paciente por fotogrametria, 3) a realização de osteotomias virtuais customizáveis por meio de cálculos booleanos, 4) a manipulação dos segmentos osteotomizados de acordo com a análise facial realizada pelo cirurgião, 5) a visualização do resultado cirúrgico de forma tridimensional e texturizada e 6) a criação e preparação de guias cirúrgicos para impressão 3D. Conclusão: O add-on OrtogOnBlender oferece aos cirurgiões buco-maxilo-faciais uma ferramenta de planejamento virtual em cirurgia ortognática viável, de baixo custo e passível de customização pelo próprio usuário, características que favorecem sua utilização por uma base mais ampla de usuários que promove, portanto, seu crescimento e evolução continuados, bem como sua possível aplicação no Sistema Único de Saúde.

Palavras-chave: Cirurgia Ortognática. Imagem Tridimensional. Projeto Auxiliado por Computador.

ABSTRACT

This work aims to present the functionalities of the OrtogOnBlender add-on - a complement of the open source software Blender - for the virtual planning of orthognathic surgeries. The visualization, manipulation and creation of three-dimensional objects (3D) by computational means offered the buco-maxillofacial surgeon the opportunity to 1) plan surgeries with virtual models, 2) manufacture surgical guides based on the concept of computer-aided design / aided manufacturing (CAD / CAM) and 3) estimate three-dimensional postoperative outcomes, facilitating surgical choices and communication with patients. Despite the advantages of virtual planning in orthognathic surgery and implantodontics, the software used for this purpose is usually closed source, high cost and offers relatively limited resources regarding the customization of osteotomies and the alternation between functionalities (orthognathic module vs. implantodontia module, for example). Although Blender's native tools - a free graphic animation software based on the Python computational language - are designed for computer graphics projects, the OrtogOnBlender add-on has been developed in a collaborative way and enables 1) the conversion of DICOM files to virtual structures models 3D, 2) the creation of a textured 3D object that mimics the face of the patient by photogrammetry, 3) the realization of customizable virtual osteotomies by means of Boolean calculations, 4) the manipulation of the osteotomized segments according to the facial analysis performed by the surgeon, 5) visualization of surgical results in a three-dimensional and textured way, and 6) creation and preparation of surgical guides for 3D printing. Conclusion: The OrtogOnBlender add-on offers buco-maxillofacial surgeons a virtual planning tool in viable orthognathic surgery, inexpensive and user-customizable, features that favor its use by a broader base of users that promotes, therefore, its continued growth and evolution, as well as its possible application in the Unified Health System.

Key words: Orthognathic Surgery. Three-Dimensional Imaging. Computer-Aided Design.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Poses fotográficas mais comumente usadas para o registro estático.....	19
Figura 2. Arco facial montado na paciente e checagem da angulação do plano oclusal contra a radiografia de perfil.....	20
Figura 3. Radiografias de rotina para o planejamento de cirurgias ortognáticas.....	21
Figura 4. Ilustração do traçado preditivo e da cirurgia de modelo conforme descrição no texto	25
Figura 5. Interface inicial do Blender 2.78c.....	27
Figura 6. A importação dos arquivos DICOM é feita por seleção da pasta que contém os arquivos, para então clicar no botão “Converte DICOM para 3D” (marcação em amarelo). Após alguns minutos o programa converterá os arquivos DICOM em dois objetos 3D parentados: o envelope de tecido mole (em cinza) e o crânio (em laranja).	28
Figura 7. Outra funcionalidade interessante do OrtogOnBlender é a segmentação dos ossos, particularmente a separação entre mandíbula e o restante do crânio. A segmentação também é feita de forma relativamente simples através de botões (em amarelo), preparando a mandíbula para a execução das osteotomias virtuais.	29
Figura 8. O add-on também permite que fotografias do paciente sejam transformadas em um objeto 3D com textura através da técnica de fotogrametria. Este é um passo importante para os profissionais envolvidos e para o paciente, pois vai possibilitar a visualização de uma estimativa dos resultados cirúrgicos.....	31
Figura 9. Nesta imagem, vemos que o add-on permite a realização das osteotomias (que podem ser customizadas) e a configuração da armadura que permite os movimentos dos segmentos e influencia o tecido mole.	33
Figura 10. Grupo de botões para marcação dos dentes em preparação para a criação do esplinte. Observe que os dentes estão numerados de acordo com o sistema americano e internacional (entre parênteses).	34
Figura 11. Simulação de avanço mandibular na imagem à direita (exagerado para fins ilustrativos). A armadura mostrada na figura anterior permite que a movimentação dos segmentos influencie os tecidos moles em tempo real, facilitando a discussão do caso com o paciente ou com o ortodontista.....	35

Figura 12. Diretório Criação do Splint.....	35
Figura 13. O add-on também permite a geração e exportação dos guias cirúrgicos em formato STL, credenciando-se como uma alternativa plausível aos softwares comercialmente disponíveis.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD/CAM: computer-aided design/computer-aided manufacturing, ou desenho assistido por computador/manufatura assistida por computador

CBCT: cone-beam computed tomography, ou tomografia computadorizada de feixe cônico

TC: tomografia computadorizada

DDFs: deformidades dento-faciais

DICOM: digital imaging and communications in medicine (formato de arquivo digital)

FIR: fixação interna rígida

OSRM: osteotomia sagital do ramo mandibular

PHF: plano horizontal de Frankfort

RC: relação cêntrica

STL: standard template library (formato de arquivo digital)

TP: traçado predictivo

ICS: incisivo central superior

ASA: articulador semi-ajustável

ATM: articulação temporo-mandibular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 METODOLOGIA.....	13
3 REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 HISTÓRICO.....	14
3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL vs. VIRTUAL.....	16
3.3 PLANEJAMENTO CONVENCIONAL	18
3.3.1 Diagnóstico e planejamento.....	18
3.3.2 Exame clínico	18
3.3.3 Moldagens e montagem em articulador	19
3.3.4 Documentação radiográfica	20
3.3.5 Análise cefalométrica e traçado predictivo	21
3.3.6 Cirurgia de modelos.....	24
3.4 PLANEJAMENTO VIRTUAL.....	25
3.4.1 OrtoGOnBlender	26
3.4.2 Reconstrução 3D a partir de imagens DICOM.....	27
3.4.3 Linhas de referência	28
3.4.4 Segmentação de partes de interesse	28
3.4.5 Importação de modelos dentários 3D e alinhamento ao crânio	29
3.4.6 Segmentação das arcadas e do crânio.....	29
3.4.7 Zoom	30
3.4.8 Criação da fotogrametria	30
3.4.9 Osteotomias	31
3.4.10 Dinâmica do mole	32
3.4.11 Criação do splint	33

4 CONCLUSÃO	37
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

Um planejamento preciso é fundamental para que a cirurgia ortognática alcance resultados estéticos e funcionais. Atualmente, o cirurgião dispõe de modalidades diferentes de planejamento cirúrgico para alcançar o sucesso da terapêutica proposta. Consideradas as possíveis vantagens e desvantagens de uma ou outra abordagem, o planejamento contemporâneo das cirurgias ortognáticas pode ser categorizado como convencional ou virtual na dependência da densidade de utilização de tecnologias computacionais.

O planejamento convencional tem como vantagens, por exemplo, o baixo custo e menor exposição do paciente à radiação ionizante. A exposição à radiação pode ser um fator limitante do planejamento virtual, visto que os pacientes são submetidos a doses maiores de radiação na aquisição de tomografias computadorizadas (TC) do que em radiografias comuns, como radiografia panorâmica e telerradiografia de perfil. Por outro lado, o planejamento convencional tem em si aspectos limitadores como 1) erros na transferência do arco facial para o articulador semi-ajustável, 2) limitação da avaliação dos modelos fixos ao articulador, 3) menor precisão dos movimentos cirúrgicos planejados, o que pode ocasionar mal posicionamento dos maxilares e até mesmo assimetria. (WU, LIN et al., 2017).

A aquisição de elementos tridimensionais utilizando a tomografia computadorizada (TC) supera algumas das deficiências encontradas no planejamento convencional de cirurgias ortognáticas. (KIM, PARK et al., 2017). O planejamento virtual tem como vantagem a criação de um modelo tridimensional (3D) do paciente que permite manipular os tecidos duros e moles e a criação de cenários cirúrgicos diferentes. Além disso, o escaneamento dos modelos dentários pode ser integrado a esses modelos 3D, melhorando o grau de fidelidade da intercuspidação. (ZANGH, LIU et al., 2016). Por meio do planejamento digital, a fabricação de guias cirúrgicos fica facilitada e acelerada pelo uso de tecnologia baseada nos conceitos de desenho assistido por computador/manufatura assistida por computador (CAD/CAM). Há possibilidade, inclusive, de criar guias de osteotomia, facilitando a execução das mesmas e diminuindo o tempo operatório. Além disso, o planejamento virtual parece ser capaz de produzir maior fidelidade nos movimentos cirúrgicos: Zhang, Liu et al. (2016)

relatam que as diferenças angulares entre o modelo virtual e as imagens do paciente pós-cirurgia ortognática foram clinicamente satisfatórias. Além disso, a manipulação dos modelos virtuais em computador diminui o tempo entre as consultas pré-cirúrgicas, além de facilitar a comunicação entre o cirurgião e o paciente e o armazenamento e transmissão de dados e modelos virtuais.

A principal desvantagem do planejamento virtual parece ser o alto custo associado aos softwares, o que de certa forma limita o uso dessa tecnologia. Dentre outras barreiras, temos o custo e a dificuldade de acesso às tomografias computadorizadas/tomografias computadorizadas feixe cônico (TC/CBCT) e aos escâneres de modelo e intraorais, além dos artefatos e as altas doses de radiação associados às tomografias. Outro aspecto importante é a necessidade de obtenção de imagens de boa qualidade e precisas, que por vezes exigem a combinação de diversas técnicas de aquisição 3D para se adquirir um modelo multimodal para o planejamento da cirurgia ortognática. (NILSSON, RICHARD et al., 2016).

No cenário atual de avanço tecnológico, o Blender é uma ferramenta ideal para quem deseja entrar na área de computação gráfica. O programa nada mais é que um software de modelagem e animação 3D. Nele pode-se criar cenas, objetos, alterar as propriedades dos objetos, como dimensão, cores, movimentos. (MORAES, 2018)

O OrtogonBlender é um *add-on* (complemento) para o software de código aberto Blender. O *add-on* apresenta uma sequência de passos que conduzem o usuário desde a importação do modelo 3D a partir de um arquivo de imagens tomográficas no formato DICOM até a confecção do guia cirúrgico e sua exportação para impressão 3D. O OrtogonBlender é uma ferramenta gratuita e que, portanto, pode ser implementado no SUS para oferecer aos usuários uma nova alternativa para o planejamento de cirurgias ortognáticas e em outras cirurgias do complexo buco-maxilo-facial.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar as funcionalidades do *add-on* OrtogonBlender no planejamento virtual de cirurgias ortognáticas. Servindo como ferramenta útil para auxiliar o cirurgião buco-maxilo-facial.

2 METODOLOGIA

A pesquisa teórica fundamentou-se a partir da documentação encontrada no site de Cicero Moraes (http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt_br/OrtogOnBlender/), criador do *add-on* OrtogonBlender, além de basear-se em pesquisa bibliográfica complementar por meio da base de dados PubMed. Os descritores extraídos do DeCS foram “Orthognathic Surgery”, “Three-Dimensional Imaging” e “Computer-Aided Design” combinados por meio dos operadores booleanos “AND” e “OR”.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 HISTÓRICO

O histórico da cirurgia ortognática remete ao desenvolvimento da cirurgia craniomaxilofacial no século XIX. Com a ampliação e união dos conhecimentos da neurocirurgia, cirurgia plástica, cirurgia de cabeça e pescoço, otorrinolaringologia e oftalmologia, surgiu o impulso necessário para que a cirurgia ortognática se desenvolvesse como a conhecemos hoje. (DA CRUZ, 2018).

A primeira osteotomia de mandíbula aconteceu em West Virginia, nos Estados Unidos, no ano de 1847, procedimento realizado por Dr. Simon P. Hüllihen (1810-1857) como recurso terapêutico para tratamento da mordida aberta anterior em uma jovem de 20 anos. (DA CRUZ, 2018). Mais adiante, no início do século XX, a humanidade viveu um período extremamente violento marcado pela Primeira Guerra Mundial. Surgiu, então, uma demanda considerável de soldados com faces mutiladas e que sequer conseguiam realizar funções básicas, como comer e falar, e que necessitavam de tratamento específico. (DA CRUZ, 2018)

É nesse momento que surge a figura de Dr. Vilray Papin Blair (1871-1955), um cirurgião geral que dedicou-se ao estudo da cirurgia facial, da boca e dos maxilares, escrevendo obras célebres, como o livro “Surgery and Diseases of the Mouth and Jaws” em 1912 e o artigo “Reconstructive Surgery of the Face”, um compilado que relata sua vivência clínica em 1921. A partir destes registros, surgiu o impulso que levou os cirurgiões-dentistas a se interessarem pela traumatologia da boca e dos maxilares. (DA CRUZ, 2018). Entre outros cientistas que contribuíram brilhantemente para o desenvolvimento da cirurgia buco-maxilo-facial e, conseqüentemente, da cirurgia ortognática, figurou René Le Fort (1869-1951), que publicou três trabalhos sequenciais sobre fraturas maxilares em 1901 corroborando a narrativa pioneira de Guerin (1866), que originalmente descreveu a fratura transversa baixa da maxila, atualmente designada fratura Le Fort I. (DA CRUZ, 2018).

Atribui-se ao médico alemão Martin Wassmund (1892-1956) o registro histórico da primeira osteotomia maxilar (segmentar anterior) em 1927, realizada com o intuito de corrigir uma mordida aberta. Outro alemão, Georg Axhausen (1877-1960), trouxe algumas inovações para a técnica cirúrgica maxilofacial, tendo sido o pioneiro na

execução de avanço maxilar por meio de osteotomia total da maxila do tipo Le Fort 1 acompanhada de imobilização maxilomandibular. (DA CRUZ, 2018).

Nos primórdios da evolução técnica da cirurgia buco-maxilo-facial, os procedimentos para correção de deformidades da maxila e da mandíbula eram realizados em momentos cirúrgicos diferentes em função das dificuldades de planejamento cirúrgico, da complexidade da técnica cirúrgica e do tempo gasto para sua realização (GROSS E JAMES, 1978). Enquanto alguns cirurgiões destacavam o valor de uma reavaliação após a execução de um procedimento para então prosseguir com os demais, outros alegavam a falta de necessidade de se realizar transfusões sanguíneas como vantagem para o tratamento em etapas. (TURVEY, 2011).

Com o avanço do conhecimento técnico-científico, já no final do século XX, o leque para a cirurgia ortognática foi ampliado. Anomalias mais graves puderam ser tratadas, proporcionando resultados mais harmônicos tanto estética quanto funcionalmente. Tais resultados animadores foram obtidos graças a popularização da cirurgia ortognática bimaxilar realizada simultaneamente (VAN SICKELS, 2009). Também foi nesta década que a fixação interna rígida (FIR) fundamentou-se como recurso para estabilização dos fragmentos ósseos, proporcionando uma expansão ainda maior das indicações para o procedimento e da variabilidade de técnicas cirúrgicas (LABANC, TURVEY et al., 1982; SKOCZYLAS et al., 1988) ao proporcionar maior segurança e estabilidade óssea durante e após o procedimento (VAN SICKELS E RICHARDSON, 1996).

Foi por intermédio da FIR que o protocolo convencional para cirurgia ortognática bimaxilar foi estabelecido. As técnicas mais utilizadas em procedimentos simultâneos eram a osteotomia Le Fort I e a osteotomia sagital do ramo mandibular (OSRM) (TUCKER E WHITE, 2003). As incisões, bem como os cortes ósseos iniciais da OSRM, eram feitos bilateralmente, mas a separação dos elementos distal e proximal era postergada; o foco, então, era direcionado para a maxila, que era osteotomizada no nível Le Fort I, mobilizada e presa na posição desejada. A OSRM era concluída, e o elemento distal reconduzido e fixado de acordo com a nova posição maxilar. (EPKER E WOLFORD, 1975; OATIS, VAN BELOIS et al., 1978; TURVEY, 2011). A FIR possibilitou que a OSRM fosse executada por completo previamente à osteotomia maxilar, com a mandíbula mantida em sua nova posição por intermédio da FIR,

permitindo que a mandíbula resposicionada fosse usada como guia para recondução da maxila após a osteotomia Le Fort I (TUCKER e WHITE, 2003).

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL vs. VIRTUAL

A Odontologia vivencia grandes inovações tecnológicas, com novas ferramentas que proporcionam aos cirurgiões um melhor planejamento e, maior previsibilidade tanto na etapa de diagnóstico como na de tratamento. (LI, JIANG et al., 2015; SOLABARRIETA, MÍNGUEZ et al., 2015; SWENNEN, 2014). A manipulação óssea para fins ortognáticos foi aprimorada com a introdução de novas tecnologias, como a produção digital de guias cirúrgicos, os escâneres intraorais, os registros ortodônticos digitais 3D e a utilização de softwares para simulação de movimentos cirúrgicos (COUSLEY e TURNER, 2014). A cirurgia ortognática é, nos dias de hoje, um procedimento relativamente comum realizado com o objetivo de corrigir distúrbios do sistema estomatognático, melhorando a estética e função do complexo buco-maxilo-facial. (SHAFI, AYOUB et al., 2013). O procedimento é indicado para pacientes que apresentam discrepâncias ósseas, correções estéticas pós-trauma, pacientes fissurados e problemas graves de maloclusão que requerem tratamento orto-cirúrgico; além disso, o procedimento está indicado para o manejo de pacientes acometidos pela síndrome da apneia/hipopneia obstrutiva do sono. (TERZI, SCHOUMAN et al., 2013).

O ato operatório é obrigatoriamente precedido pelas etapas de diagnóstico e planejamento. O diagnóstico é comumente feito através da combinação de dados provenientes do exame clínico, da análise facial clínica, da análise fotográfica (imagens da oclusão dentária, visão frontal e lateral do rosto) e da análise radiográfica (radiografia panorâmica, telerradiografia de perfil e frontal) e cefalometria. (ABOUT-HOSN, CENTERO et al., 2012; SOLABARRIETA, MÍNGUEZ et al., 2015). No tocante ao planejamento cirúrgico, o cirurgião pode ter duas abordagens: o planejamento convencional e o planejamento digital, ambos com vantagens e desvantagens bem estabelecidas.

A abordagem convencional é menos onerosa ao paciente, além de proporcionar menor exposição à radiação ionizante produzida pelo equipamento radiológico. Por outro lado, existem várias fontes de inexatidão e imprecisão relacionadas à radiografia

(presença de artefatos e distorções), aos erros na montagem do arco facial no paciente e sua transferência para o articulador e à “cirurgia” realizada no modelo dental de gesso do paciente (força da gravidade sobre o modelo em movimentação, no caso da maxila, risco de alteração nas movimentações planejadas), o que pode culminar em guias cirúrgicos imprecisos e execução cirúrgica inadequada. (SOLABARRIETA, MÍNGUEZ et al., 2015; KIM, WOO et al., 2014; SWENNEN, 2014).

Por outro lado, o método virtual possui diversas vantagens: primeiramente, o clínico possui acesso privilegiado à anatomia da área de interesse através de imagens e modelos tridimensionais, possibilitando a simulação de diversos cenários cirúrgicos em um paciente virtual através dos variados *softwares* comercialmente disponíveis. Hernández-Alfaro, Guijarro-Martínez et al (2013) relatam a praticidade, precisão e simplificação dos passos técnicos e computacionais decorrente da utilização de tais *softwares*. Da mesma forma, Shafi, Ayoub et al. (2012) determinaram como clinicamente satisfatória a previsibilidade no posicionamento dos tecidos moles proporcionada pelos programas computacionais de planejamento por eles testado (SHAFI, AYOUB et al., 2012). No contexto do planejamento virtual, os guias cirúrgicos podem ser confeccionados no computador e transformados em arquivos.STL passíveis de exportação para impressão 3D. (CHIN, WILDE et al., 2017). Entretanto, o alto custo associado a esta abordagem é transferido ao paciente, o que muitas vezes inviabiliza sua aplicação; além disso, a maior exposição à radiação ionizante decorrente da necessidade de tomografia computadorizada é outro fator a ser considerado como desvantajoso. Ainda que a tomografia computadorizada de feixe cônico tenha permitido diminuição substancial da radiação utilizada para aquisição de imagens, ainda assim a exposição do paciente é maior do que aquela verificada quando se utilizam radiografias panorâmicas e cefalométricas. (KIM, WOO et al., 2014; LI, JIANG et al., 2015).

O planejamento convencional envolve duas etapas distintas. A primeira consiste em realizar um planejamento cefalométrico que simula o perfil facial desejado com base em exames radiográficos convencionais. Depois disso, o planejamento cefalométrico é transferido aos modelos montados em articulador semi-ajustável (ASA), modelos esses cortados e reposicionados para a posterior confecção dos guias cirúrgicos. Este procedimento determina oclusão pós-operatória desejada, que é então transferida ao paciente durante o ato cirúrgico (SOLABARRIETA, MÍNGUEZ et al., 2015).

3.3 PLANEJAMENTO CONVENCIONAL

3.3.1 Diagnóstico e planejamento

Classicamente, a cirurgia ortognática bimaxilar é iniciada pela maxila. É imprescindível que o cirurgião tenha a sua disposição os registros estáticos (fotografias, radiografias ou tomografias, modelos de gesso montados em ASA) e funcionais (registro da movimentação mandibular, análise do sorriso e análise dos tecidos moles e da tonicidade muscular) para que um bom diagnóstico seja determinado e para que o planejamento do caso enderece todas as necessidades do paciente.

3.3.2 Exame clínico

O exame clínico deve avaliar fatores que são peças-chave para o bom entendimento do caso. São eles:

- a) Dentição, que inclui avaliação da posição da linha média dentária, das inclinações dentárias e do plano oclusal e da presença de contatos prematuros;
- b) Padrão esquelético, considerando a presença ou ausência de assimetrias da estrutura óssea facial (terços superior, médio e inferior) e do mento, bem como a inter-relação entre a linha média dentária e a esquelética;
- c) Tecidos moles, considerando-se as dimensões do lábio superior, bem como a sua relação com o incisivo superior em repouso, bem como o tônus da musculatura perioral, exposição gengival no sorriso forçado, curva do sorriso, posicionamento e formato do nariz, bochechas, pescoço, garganta, e a harmonia de todos os elementos no contexto da face;
- d) Guias de trajetória mandibular nos movimentos excursivos (anterior, posterior e lateral); e
- e) Avaliação das ATMs e da oclusão estática e dinâmica. (REYNEKE, 2003).

Idealmente, essas avaliações devem ser realizadas num mesmo momento para que o cirurgião tenha um julgamento mais apurado sobre o caso. É imprescindível que haja uma documentação fotográfica inicial de boa qualidade e padronizada. As posições mais comumente utilizadas são as frontais com lábios relaxados, sorriso forçado e relaxado, os perfis direito e esquerdo, e as fotografias três-quartos de ambos os lados. Em casos em que pacientes apresentem algum tipo de assimetria, pode-se

tirar uma fotografia frontal utilizando uma régua de Fox e, também, uma fotografia com orientação submento-vértice. As fotos intraorais têm por objetivo registrar a oclusão encontrada no paciente, bem como a relação interarcos. Caso o paciente apresente diferença entre a linha média da face e a dentária, o registro fotográfico deve ser realizado para confirmar essa diferença. (ARNETT e MCLAUGHLIN, 2004).



Figura 1. Poses fotográficas mais comumente usadas para o registro estático. A: Foto frontal com selamento labial; B: Foto frontal com sorriso forçado; C e D: Foto de perfil; E e F: Foto ¾.

3.3.3 Moldagens e montagem em articulador

A moldagem é uma etapa crucial para um bom planejamento da cirurgia. É necessário que o modelo de gesso possua o maior detalhamento possível das estruturas oclusais. Também deve-se buscar máxima precisão na confecção dos registros de mordida em cera. Em muitos casos pode haver a necessidade de confecção de mais de um tipo de registro, principalmente em casos de desorientação funcional ou compensação no decorrer do fechamento mandibular (mordida dupla). Após a obtenção dos modelos de gesso, se faz necessária a utilização de articuladores semi-ajustáveis, valendo-se do arco facial para a montagem dos modelos. (PROFFIT, WHITE et al., 2003; REYNEKE, 2003; ARNETT e MCLAUGHLIN, 2004). Caso o cirurgião buco-maxilo-facial tenha dúvida quanto ao correto posicionamento do arco facial, pode utilizar-se de uma radiografia cefalométrica para verificar a posição com o arco facial.

É lícito salientar que existem controvérsias em relação à transferência dos modelos com arco facial para o articulador no planejamento de intervenções ortognáticas. As razões para a inexatidão da transferência do arco facial para o articulador incluem 1) assimetrias nas posições vertical, ântero-posterior e médio-lateral do meato acústico externo ou dos côndilos do paciente, diferindo da simetria dos pinos auriculares do ramo superior do articulador, 2) diferenças entre o plano horizontal de Frankfurt (PHF) no articulador e em pacientes portadores de assimetrias, 3) erro ou movimentação do arco facial durante o registro e 4) aberrações de posição da base do crânio e dos

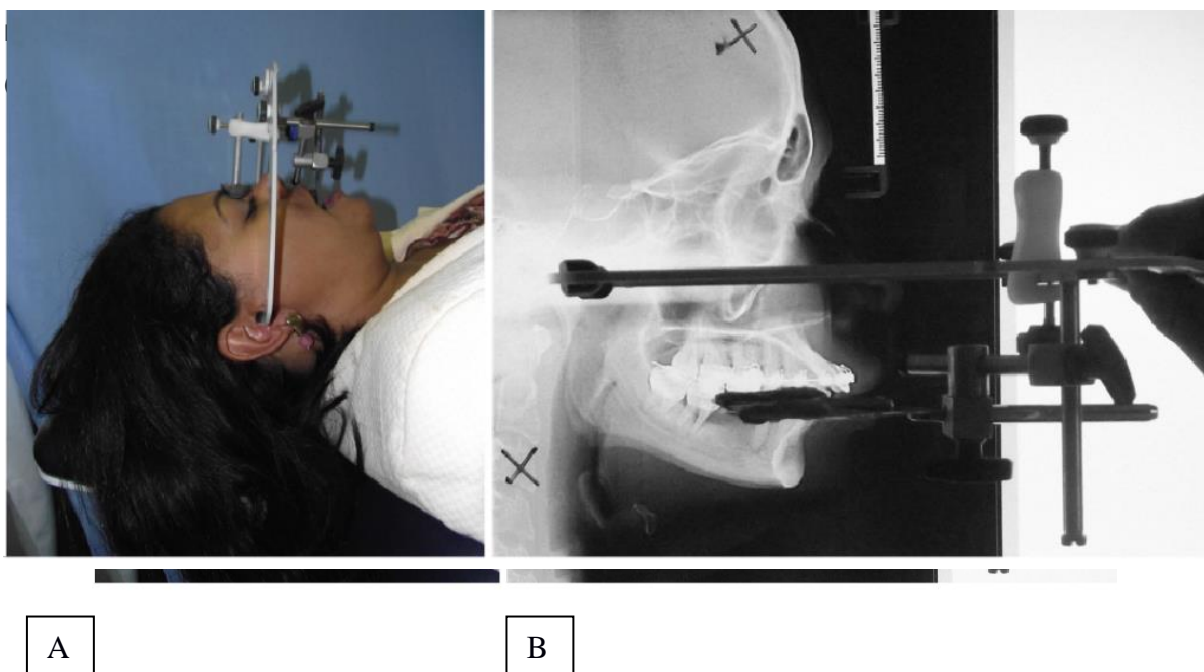


Figura 2. A: Arco facial montado na paciente; B: checagem da angulação do plano oclusal contra a radiografia de perfil

3.3.4 Documentação radiográfica

O exame radiográfico é uma das muitas peças que o cirurgião tem em mãos para planejar a melhor forma de intervir, sendo ferramentas complementares ao diagnóstico clínico. As radiografias mais comumente utilizadas são as cefalométricas de perfil, panorâmica, e periapicais de boca completa caso haja necessidade verificada durante o exame clínico. As radiografias devem ser reproduzíveis no decorrer do tratamento. Durante a cefalometria, o paciente é orientado a relaxar os lábios e posicionar-se em relação cêntrica com auxílio da mordida em cera, mantendo os contatos dentários nessa posição. (PROFFIT, WHITE et al., 2003; REYNEKE, 2003; ARNETT e MCLAUGHLIN, 2004).

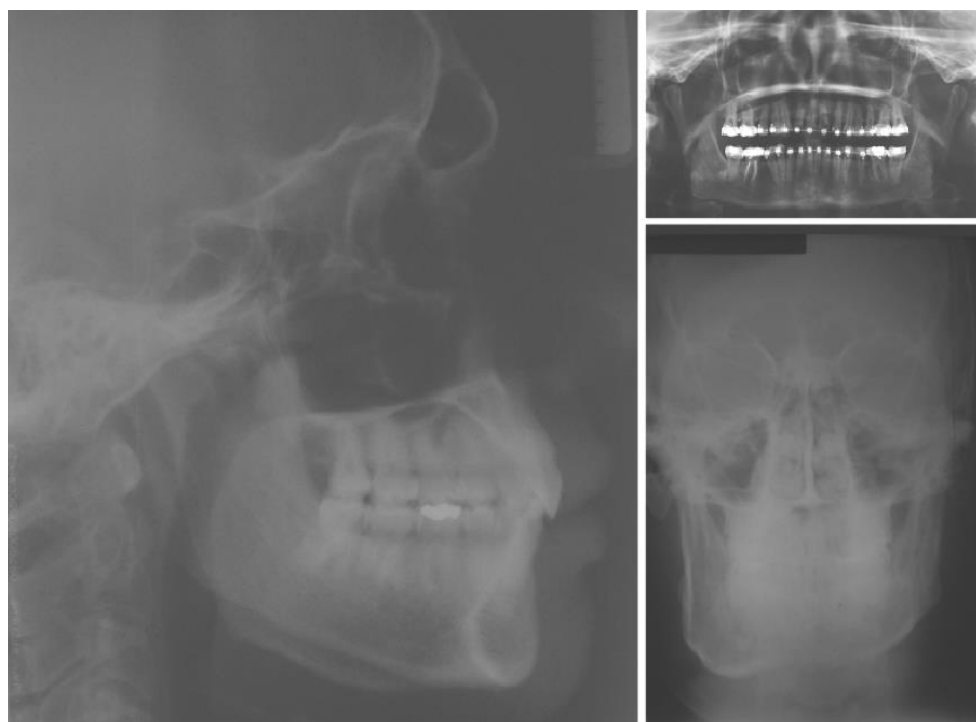


Figura 3. Radiografias de rotina para o planejamento de cirurgias ortognáticas. A: Radiografia cefalométrica; B: Radiografia panorâmica e C: Radiografia PA da face.

3.3.5 Análise cefalométrica e traçado predictivo

A cefalometria é um exame complementar que representa bidimensionalmente a estrutura tridimensional da face. Apesar das distorções inerentes ao procedimento, é uma ferramenta de grande valia para auxiliar o diagnóstico e desenvolvimento do plano de tratamento. (KUSNOTO, 2007).

Por um longo período, a análise cefalométrica foi a principal guia para determinar quais procedimentos cirúrgicos seriam necessários para tratar pacientes com deformidades dento-faciais. Contudo, ater-se apenas à informações derivadas da avaliação de elementos esqueléticos para o diagnóstico e definição do plano de tratamento em intervenções cirúrgicas é problemático por diversos motivos, como alusões a indivíduos que não apresentam deformidades como parâmetro de comparação, além de possíveis diferenças étnicas e do fato de não serem consideradas atípicas em referências importantes como a angulação da base do crânio, por exemplo. (WORMS, SPEIDEL et al., 1980). A partir dos anos 80 esse pensamento começou a mudar, e as atenções foram voltadas para avaliação centrada nos tecidos

moles faciais. Uma boa análise desses tecidos permite ao cirurgião ter uma boa noção das mudanças faciais esperadas no pós-operatório (ARNETT e BERGMAN, 1993a; b; ARNETT, JELIC et al., 1999).

Vários autores e instituições desenvolveram suas análises cefalométricas, sem que se demonstre superioridade de uma sobre as outras. De fato, a escolha de uma ou outra análise é influenciada por questões de preferência do profissional que assiste o caso. (GREGORET, TUBER et al., 1999).

Já o traçado preditivo, que é oriundo da análise cefalométrica, tem diversos objetivos:

- 1) Ensaiar e determinar possibilidades ortodônticas e cirúrgicas;
- 2) Estimar os progressos cirúrgicos, promovendo um foco cirúrgico preciso;
- 3) Considerar a praticabilidade da cirurgia;
- 4) Antever a mudança das estruturas moles para aprimorar o resultado estético, tendo foco no perfil facial;
- 5) Determinar a normalidade e o efeito da cirurgia sobre as vias aéreas superiores; e
- 6) Estabelecer um elo de comunicação entre o paciente e a equipe profissional.

Reunidas todas as informações obtidas do paciente a partir do exame clínico, das fotografias, da análise completa dos modelos de gesso e da cefalometria e levando em conta o sucesso no tratamento ortodôntico prévio ao procedimento cirúrgico, o traçado preditivo pode ser realizado. Primeiramente, é realizado um traçado inicial em folha de acetato representando os tecidos moles e duros de acordo com a radiografia cefalométrica lateral. Com uma lapiseira, as estruturas mais relevantes tanto para a cefalometria como para a cirurgia são delimitadas. Agora, o cirurgião é capaz de traçar as osteotomias no primeiro traçado realizado, o que auxilia na previsão da extensão dos movimentos cirúrgicos. Após isso, é necessário traçar os terços da face, ângulos e medidas importantes nessa fase pré-cirúrgica. (GIL E CLAUS, 2009).

A posição horizontal como a vertical do incisivo central superior e o posicionamento vertical dos molares superiores são imprescindíveis no traçado predictivo de cirurgia ortognática (WOLFORD, HILLIARD et al., 1985; GIL E CLAUS, 2009). O incisivo central superior deve ser posicionado 1 a 4 mm abaixo da borda inferior do lábio superior em repouso de acordo com Hilliard et al. (1985); entretanto, Arnett, Jelic et

al. (1999), preconizam idealmente uma medida entre 4 a 5 mm. Mas o que determinará a exposição do incisivo central superior, bem como da maxila, é a combinação de todas as informações clínicas e cefalométricas obtida pelo profissional (WOLFORD, HILLIARD et al., 1985).

Inicialmente, a localização anteroposterior e horizontal do incisivo central superior é demarcada por duas linhas de referência (GIL E CLAUS, 2009), uma paralela ao plano de Frankfurt pela margem incisal e outra vertical àquela passando pela vestibular do incisivo, sendo a convergência entre ambas a referência da localização inicial do incisivo central superior. Escolhida a movimentação necessária para endereçar adequadamente os problemas diagnosticados, uma nova intersecção deve ser traçada de forma que o traçado predictivo represente o movimento proposto. Se, por exemplo, for planejado um avanço de 4 mm e um reposicionamento superior de 2 mm, uma nova intersecção será desenhada 4 mm à frente e 2 mm acima da inicial, determinando a posição final do ICS no traçado predictivo.

Segue-se a mesma racionalização para o reposicionamento dos molares, levados em consideração as melhores alterações para a angulação do plano oclusal e para o posicionamento adequado do mento (ARNETT, JELIC et al., 1999; REYNEKE, 2009). Seguindo o pressuposto que a posição anteroposterior do molar superior em relação ao incisivo central superior só pode ser alterada em cirurgias segmentadas da maxila, cabe ao cirurgião decidir sobre a posição perpendicular do molar. Inicialmente, assinala-se uma linha inicial na altura do bráquete do molar superior. Se, por conta do planejamento, a reposição superior for maior que 4 mm, uma linha adicional será demarcada no traçado predictivo 4 mm adiante (de acordo com a movimentação do incisivo) e 4 mm superiormente, definindo assim o posicionamento final dos molares. Uma vez que no traçado predictivo já devem constar o esboço das estruturas fixas e das osteotomias, o traçado inicial será reposicionado até que se encontre com as posições finais do incisivo central superior e do molar; assim, a nova posição da maxila pode ser traçada.

Após o reposicionamento da maxila, a mandíbula é posicionada de forma a estabelecer coincidência entre os planos oclusais superior e inferior com especial atenção à adequação da sobremordida e da sobressaliência. (ARNETT, JELIC et al., 1999; GIL E CLAUS, 2009). As mudanças nos tecidos moles são esboçadas de acordo com proporções aproximadas entre a movimentação dos tecidos duros e dos tecidos

moles. (WOLFORD, HILLIARD et al., 1985). Novas medidas, angulações e notas são realizadas no traçado predictivo, que é então justaposto ao tracejado preliminar para análise dos movimentos alcançados.

3.3.6 Cirurgia de modelos

A cirurgia de modelos é etapa primordial para o sucesso do procedimento ao permitir conclusões sobre a previsibilidade do caso, além de facilitar a execução dos procedimentos com mais segurança por meio da execução dos procedimentos em modelos de gesso. A partir da cirurgia de modelos, é possível a fabricação dos guias cirúrgicos, responsáveis por guiar as unidades dentais (e, conseqüentemente, as bases ósseas) às localizações previamente planejadas.

Com exceção das cirurgias realizadas em somente um dos maxilares, preconiza-se que os cirurgiões montem os modelos de gesso em articuladores semi-ajustáveis, utilizando como recurso auxiliar o arco facial e a posição de relação cêntrica (GIL E CLAUS, 2009; RUVO, SCULLY et al., 2009). Após a montagem do ASA, é interessante que os modelos estejam polidos, o que pode ser realizado com lixas de diferentes granulações, e marcados com linhas de orientação de acordo com as preferências do cirurgião. As marcações horizontais são realizadas em paralelo ao PHF (braço superior do ASA), tendo entre elas um distanciamento de um centímetro (RUVO, SCULLY et al., 2009). Linhas perpendiculares à bolacha do articulador são traçadas na linha média do modelo maxilar e nas cúspides dos caninos, méso-vestibular dos primeiros molares e região posterior do modelo de gesso. Após os traçados, o modelo maxilar é reposicionado no ASA e as linhas perpendiculares são estendidas ao modelo mandibular. Caso haja diferença entre as linhas médias dentária e facial, é prático marcar ambas as linhas com cores diferentes para simplificar a remontagem dos modelos (GIL E CLAUS, 2009). Os autores ainda recomendam que o pogônio mole seja sinalizado no modelo mandibular, e que os dois modelos sejam protegidos com uma camada de verniz acrílico para impermeabilização das linhas traçadas, evitando seu desaparecimento durante a manipulação dos modelos.

A partir dessa etapa, o cirurgião deve seguir o planejamento do traçado predictivo, observando as medidas, cortes e reposicionamento do modelo da maxila, a fabricação do guia intermediário, a recondução do modelo da mandíbula consoante à recém-adquirida referência para posição da maxila, e construção do último guia.

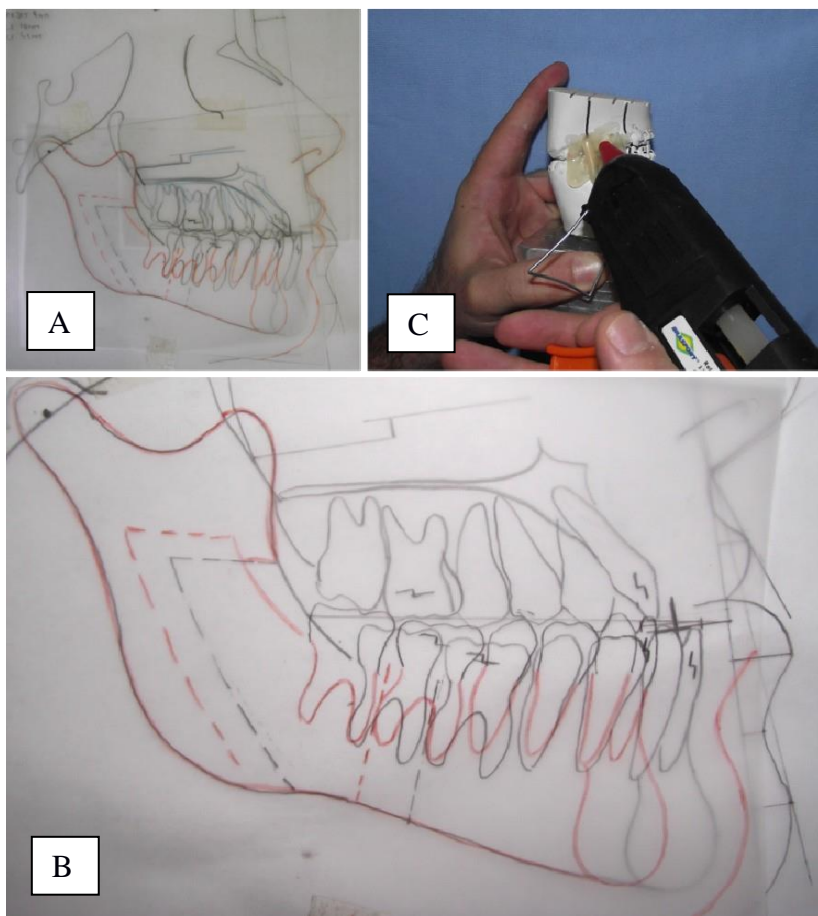


Figura 4. Ilustração do traçado predictivo e da cirurgia de modelo conforme descrição no texto. A: Pré-operatório; B: Pós-operatório e C: cirurgia de modelo.

3.4 PLANEJAMENTO VIRTUAL

O planejamento virtual 3D em cirurgia ortognática baseia-se na conversão de uma tomografia computadorizada em um modelo tridimensional computacional. Sob o ponto de vista prático, a tomografia não é nada mais que uma sequência de imagens empilhadas conhecidas como voxel *data*. Para gerar essa imagem 3D, é preciso abrir essa tomografia em um software de visualização e reconstrução 3D, selecionar a área

de interesse e segmentá-la, gerando assim o modelo tridimensional. (MORAES, 2018).

Aliado à tecnologia de prototipagem rápida, o planejamento virtual 3D proporciona uma avaliação abrangente do complexo buco-maxilo-facial, podendo simular diversos movimentos cirúrgicos de forma rápida e prática, além de facilitar a transferência do planejamento virtual para o transoperatório. (ZHANG, LIU et al., 2016). Atualmente, os softwares comercialmente disponíveis para simulação cirúrgica são: Mimics® (Materialise N.V., Leuven, Bélgica), SimPlant OMS® (Materialise N.V., Leuven, Bélgica), ProPlan® (Materialise N.V., Leuven, Bélgica), Dolphin Imaging® (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, CA, USA), e Maxilim® (Medicim, Mechelen, Bélgica). (LI & LO, 2015).

Assim como no planejamento convencional, o exame clínico no planejamento virtual é indispensável. Devendo se avaliar de forma sistemática a dentição, padrão esquelético, tecidos moles, guias da trajetória mandibular e movimentos excursivos, avaliação das articulações mandibulares (ATM). Assim como também, prosseguir com documentação fotográfica; documentação radiográfica e escâner intraoral das arcadas dentária. (ABOUT-HOSN, CENTERO et al., 2012; SOLABARRIETA, MÍNGUEZ et al., 2015).

3.4.1 OrtogOnBlender

O *add-on* OrtogOnBlender é complemento ao software Blender (www.blender.org), desenvolvido pela Blender Foundation para fins de modelagem, animação, texturização, composição, renderização, edição de vídeo e criação de aplicações interativas em 3D. Assim, o Blender é um programa de código aberto e que possui inúmeras funcionalidades que não são de uso corriqueiro ou prático para o cirurgião buco-maxilo-facial. A navegação requer certa intimidade com o uso do mouse e de atalhos de teclado, bem como noções sobre manipulação de objetos 3D no computador (fig. 5). Entretanto, o desenvolvimento do *add-on* OrtogOnBlender otimiza sobremaneira a utilização do programa para fins de planejamento cirúrgico virtual em procedimentos ortognáticos. O OrtogOnBlender foi desenvolvido pelo designer gráfico Cícero Moraes e pelo cirurgião buco-maxilo-facial Everton da Rosa, e funciona através de uma sequência de passos ou operações computacionais realizadas pelo Blender. Por sua característica de código aberto, as funcionalidades do OrtogOnBlender estão em constante evolução; além disso, sua disponibilização gratuita faz com que as

possibilidades de utilização e aprimoramento se ampliem significativamente, ao contrário dos softwares comercialmente disponíveis e seus altos custos de aquisição e manutenção. (MORAES, 2018).

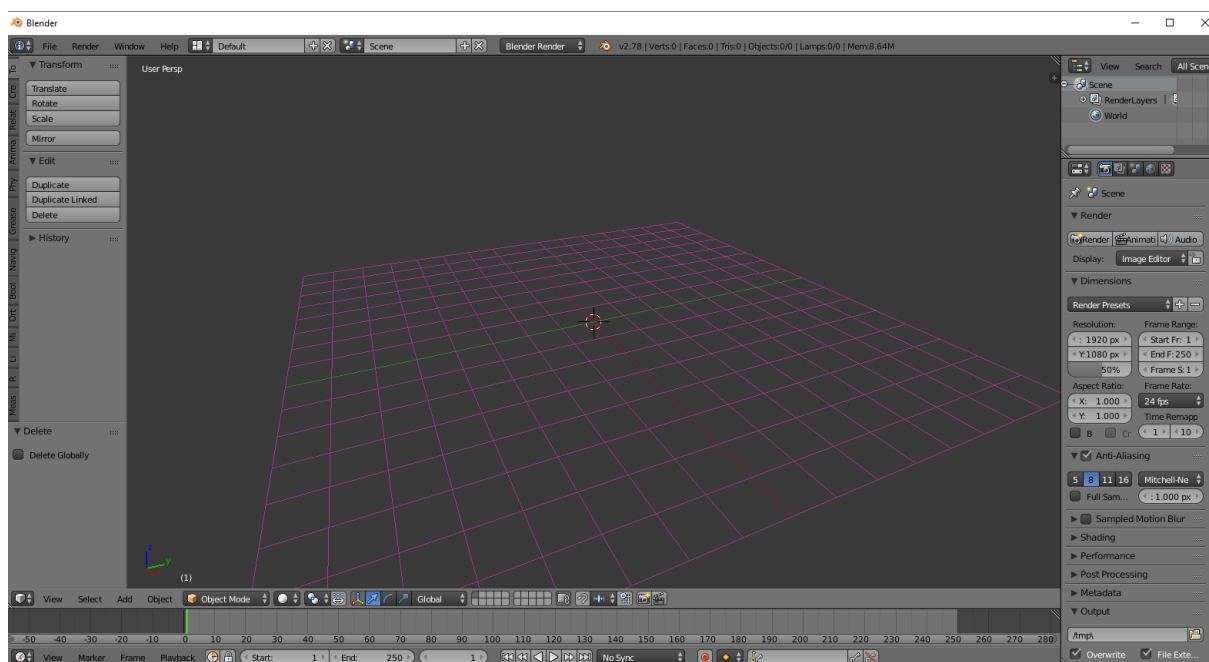




Figura 5. Interface inicial do Blender 2.78c

3.4.2 Reconstrução 3D a partir de imagens DICOM

Na seção **Importa Tomo – Reconstrução Tomográfica**, a aplicação Dicom2Mesh reconstrói um arquivo STL a partir de uma sequência de arquivos DICOM. A importação dos arquivos DICOM é feita de forma relativamente simples ao selecionar-se a pasta que contém os arquivos do paciente  e clicar no botão . Dependendo da capacidade do processador (idealmente um Intel Core™ i5 superior ou similar), em alguns minutos o programa converterá os arquivos DICOM em dois objetos 3D parentados (especialmente relacionados entre si): o envelope de tecido mole (em cinza na fig. 6) e o crânio (em laranja na fig. 6). Os botões Fator Mole e Fator Duro podem ser ajustados de acordo com os limiares de segmentação dos diferentes tecidos orgânicos por meio de outros softwares como o Slicer ou o Invesalius. Assim, pode ser alcançada a reconstrução adequada desses tecidos em um modelo 3D que será a base para a realização das osteotomias, movimentações cirúrgicas e criação de guias e modelos cirúrgicos por prototipagem rápida. (MORAES, 2018).

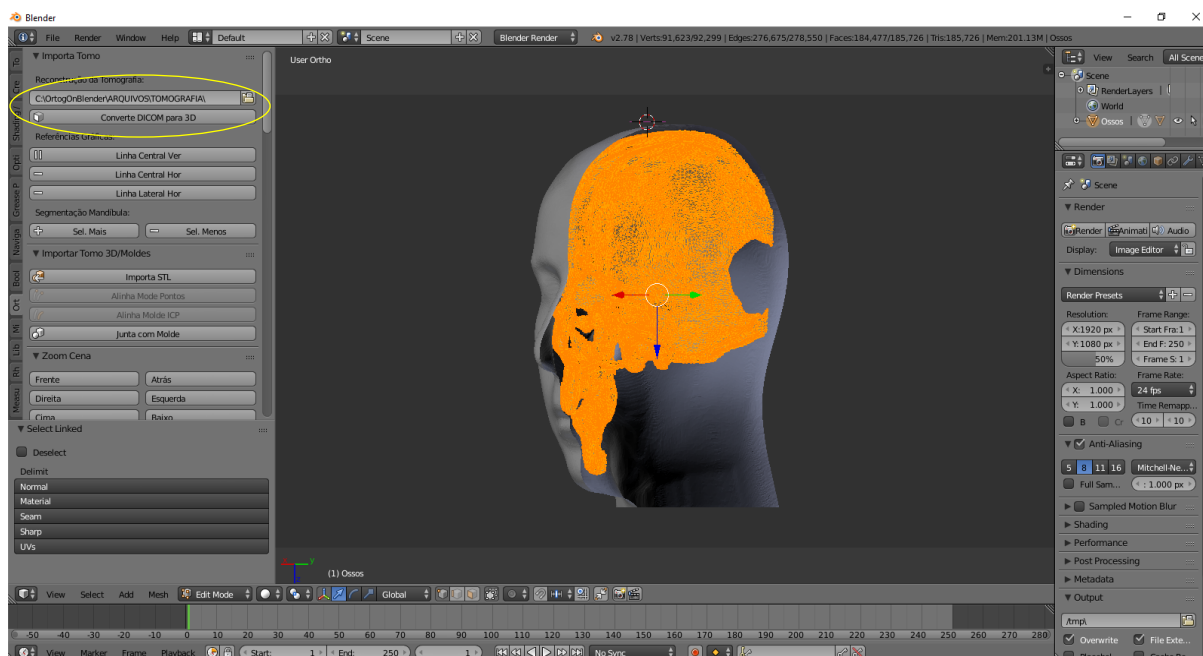
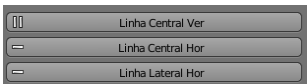



Figura 6. A importação dos arquivos DICOM é feita por seleção da pasta que contém os arquivos, para então clicar no botão “Converte DICOM para 3D” (marcação em amarelo). Após alguns minutos o programa converterá os arquivos DICOM em dois objetos 3D parenteados: o envelope de tecido mole (em cinza) e o crânio (em laranja).

3.4.3 Linhas de referência

No passo **Referências Gráficas**, podem ser criadas linhas verticais e horizontais por

meio dos botões  para referência e posicionamento do crânio que será objeto das osteotomias e movimentações. (MORAES, 2018).

3.4.4 Segmentação de partes de interesse

No passo **Segmentação Mandíbula**, há dois botões  que selecionam de forma progressiva vértices vizinhos na malha do objeto 3D, permitindo que partes do objeto (como a mandíbula na fig. 7) sejam separadas e tornem-se objetos independentes. (MORAES, 2018).

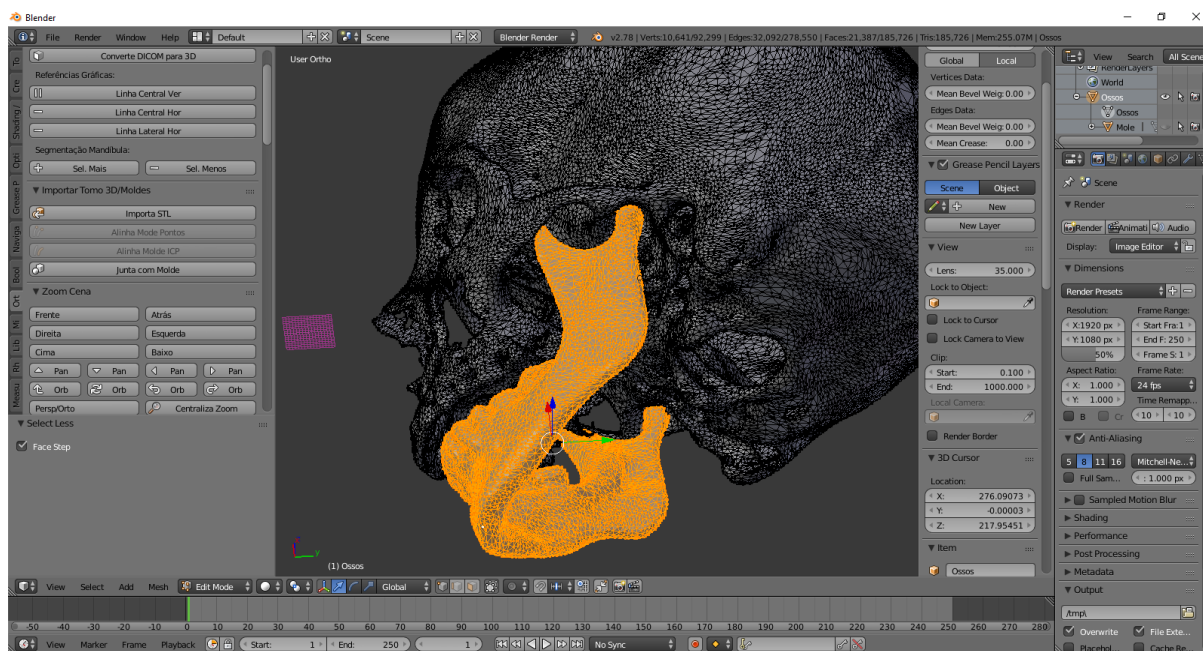


Figura 7. Outra funcionalidade interessante do OrtogOnBlender é a segmentação dos ossos, particularmente a separação entre mandíbula e o restante do crânio. A segmentação também é feita de forma relativamente simples através de botões (em amarelo), preparando a mandíbula para a execução das osteotomias virtuais.

3.4.5 Importação de modelos dentários 3D e alinhamento ao crânio

No passo **Importação de Arcadas**, é possível importar para o Blender arquivos STL gerados com escâneres intraorais ou de modelos de gesso através do botão



(MORAES, 2018). Uma vez importadas, as arcadas

podem ser alinhadas ao crânio e fundidas a ele, tornando-se um só objeto. Usualmente, a malha 3D produzida pelos escâneres é muito mais densa e, conseqüentemente, muito mais precisa em termos de reprodução de detalhes; assim, a utilização de arcadas importadas pode garantir maior fidelidade das superfícies oclusais, afetando a qualidade dos guias cirúrgicos produzidos pelo OrtogOnBlender.

3.4.6 Segmentação das arcadas e do crânio

No passo **Segmentação Arcada/Crânio**, é possível excluir determinadas áreas dos objetos da cena, diminuindo-se assim o número de vértices das malhas, o que facilita os cálculos computacionais e evita lentidão das operações do *add-on*. A segmentação da área de interesse é iniciada ao clicar-se no botão



O comando



exclui vértices da malha que ficam externos à elipse criada; já o comando








o comando



, é possível unir o modelo dentário importado

(descrito no item 3.4.5) com o restante do crânio depois do alinhamento e recorte. (MORAES, 2018).


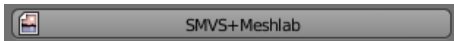
3.4.7 Zoom


A ferramenta de **Zoom** melhora a praticidade e supre a falta do teclado numérico indisponível em muitos computadores portáteis. Essa ferramenta localiza-se na base do 3D View e reproduz a visão do observador em relação ao objeto . Já os triângulos  exprimem a direção do deslocamento do observador em relação ao objeto, enquanto as setas  equivalem à direção do globo ocular do observador. O botão  centraliza os objetos na cena, e o  muda a vista de perspectiva para ortogonal. (MORAES, 2018).


3.4.8 Criação da fotogrametria

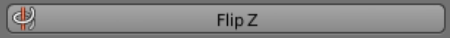
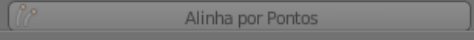
Na seção **Cria Fotogrametria**, há um campo para que o usuário localize a pasta que contém as fotografias da face que serão utilizadas para a fotogrametria



Identificada a pasta, o usuário pode clicar no botão , que ativará os cálculos necessários para a produção da malha texturizada através dos scripts OpenMVG e o OpenMS e o software Meshlab. Apesar de sua utilidade, o processo é intenso em termos de uso do processador e pode apresentar travamentos. Para aqueles casos em que não houver êxito com a sequência de passos ideal através do botão Iniciar fotogrametria, oferece-se também a opção do botão .

Para suprir a deficiência de dimensionamento e alinhamento entre as malhas da fotogrametria e dos tecidos moles do modelo gerado a partir da tomografia, a seção Alinha Faces é dividido em três passos: primeiro o usuário seleciona três pontos, dois desses determinando a distância intercantal e outro posicionado no mento, após clicar no botão ; criado o triângulo, o objeto é alinhado à câmera da

cena ao clicar Enter. No campo , deve ser colocado o valor da distância intercantal aferida no paciente em milímetros, clicando Enter para enviar a informação ao processador. Ao clicarmos no botão

2 - Alinha e Redimensiona , a malha é alinhada em relação à origem global e redimensionada para a escala real. O botão  Flip Z , é importante para corrigir a posição incorreta da malha no eixo Z. Uma vez criada, redimensionada e alinhada a malha de fotogrametria, esta deve ser alinhada à malha de tecido mole através do botão  Alinha por Pontos . Clicando no botão, a janela da interface do Blender divide-se em duas, uma mostrando a fotogrametria e outra, a malha de tecido mole; o usuário, então, deve intercalar a marcação de pontos semelhantes em uma e na outra malha, possibilita alinhar a fotogrametria com o tecido mole reconstruído a partir da tomografia. (MORAES, 2018).

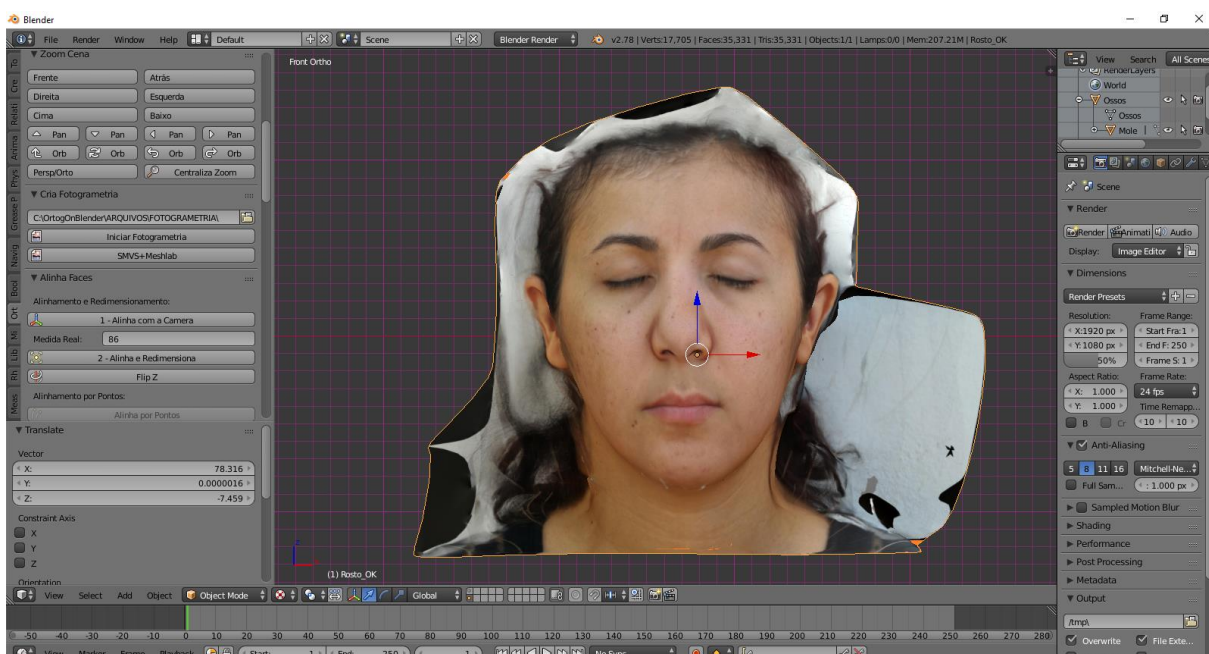


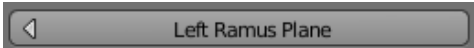



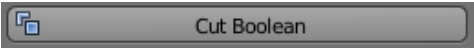



Figura 8. O add-on também permite que fotografias do paciente sejam transformadas em um objeto 3D com textura através da técnica de fotogrametria. Este é um passo importante para os profissionais envolvidos e para o paciente, pois vai possibilitar a visualização de uma estimativa dos resultados cirúrgicos.

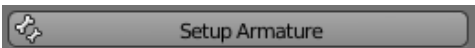



3.4.9 Osteotomias

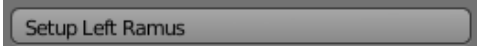
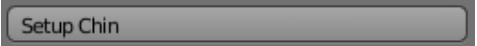

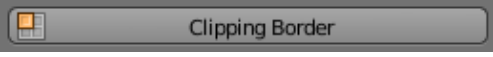
A seção **Osteotomias** possui dois grupos de botões. No primeiro grupo, uma série de botões cria planos pré-definidos relativos aos cortes tradicionais da osteotomia Le Fort I, da osteotomia sagital da mandíbula e da mentoplastia convencional. Nesse grupo, é possível aumentar a espessura dos planos de corte, uni-los em um só objeto e então, proceder com a subtração booleana, separando os fragmentos ósseos que posteriormente serão movimentados de acordo com o planejamento cirúrgico. No

botão , produz-se um plano de corte horizontal na região do mento; nos botões  e , produzem-se planos de cortes verticais para os ramos mandibulares; no botão , produz-se um plano de corte horizontal separado em duas partes ligeiramente inclinadas para a região maxilar mimetizando a osteotomia Le Fort I.

Especificamente na mandíbula, após serem estabelecidos e posicionados os planos de cortes desejados, deve-se convertê-los a um objeto único selecionando-os e clicando no botão . Já o botão  é uma alternativa para adicionar espessura aos planos de corte, permitindo uma operação de subtração booleana menos problemática. Após selecionar o osso que será osteotomizado e os respectivos planos de corte, o próximo passo a ser seguido é o corte efetivo da malha óssea clicando no botão . Esse processo é relativamente rápido, mas a separação definitiva dos fragmentos ósseos só é obtida ao clicar-se no botão . (MORAES, 2018).

3.4.10 Dinâmica do mole

A importação da armadura pré-configurada de pareamento entre tecido mole e tecido duro, que permite a simulação do efeito das movimentações cirúrgicas nos tecidos moles é feita através do botão , ainda no primeiro grupo de botões. No segundo grupo de botões estão as ferramentas de configuração das osteotomias, que se destinam a nomear e colorir os diferentes fragmentos ósseos. Esse passo é necessário para estabelecer o pareamento dos cortes com a armadura que permite a movimentação dos fragmentos e sua repercussão na malha de tecido mole. No botão , o segmento superior do crânio é renomeado para “ca” e colorido em amarelo; no botão , o segmento maxilar é renomeado para “ma” e colorido em salmão; nos botões  e

os segmentos são renomeados para “rd” e “re”, respectivamente, e coloridos em lilás. O botão  determina o corpo da mandíbula, que será renomeado “cm” e colorido em verde. Clicando no botão  , o segmento mental é renomeado de “me” e colorido em cobre. A seção Dinâmica do Mole, são criadas áreas de influência e deformação da face que incidirá na malha facial. Ao pressionar o botão  , as malhas são pareadas de forma que a movimentação das osteotomias altera o tecido mole virtual do paciente. Clicando no botão  é possível efetuar cortes da estrutura e visualizar detalhes internos numa vista sagital. (MORAES, 2018).

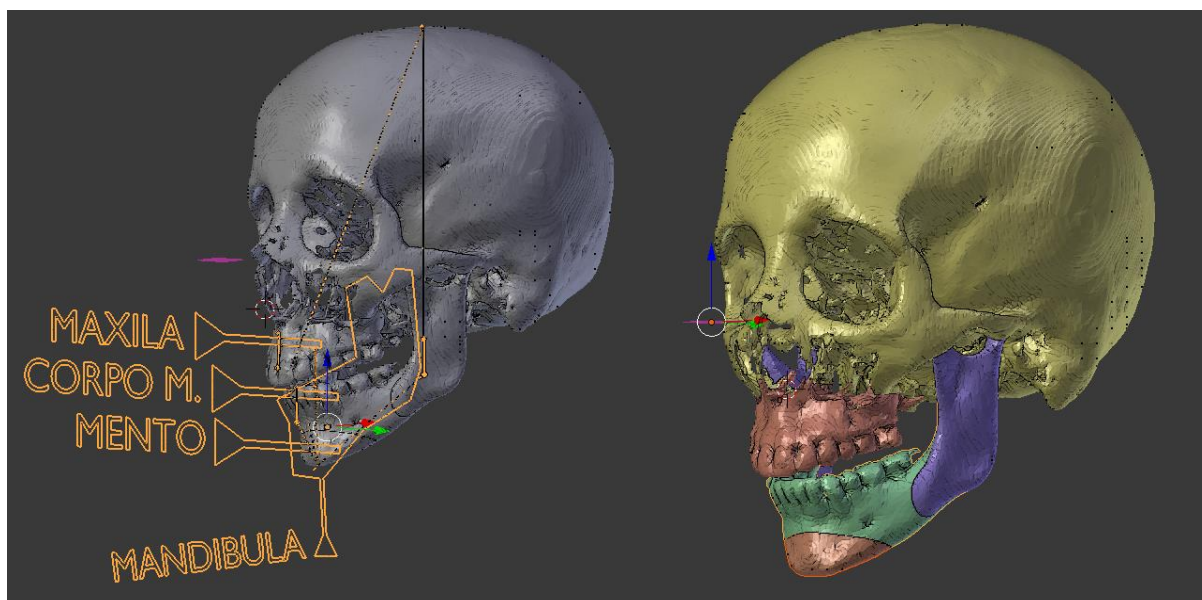


Figura 9. Nesta imagem, vemos que o add-on permite a realização das osteotomias (que podem ser customizadas) e a configuração da armadura que permite os movimentos dos segmentos e influencia o tecido mole.

3.4.11 Criação do splint

Na seção **Pontos anatômicos**, o usuário deverá iniciar a marcação dos dentes por uma das arcadas (superior ou inferior) e, em seguida, escolher o ponto relacionado com o dente que será marcado.

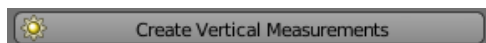


Figura 10. Grupo de botões para marcação dos dentes em preparação para a criação do guia cirúrgico. Observe que os dentes estão numerados de acordo com o sistema americano e internacional (entre parênteses).

Após inserir os pontos anatômicos, o usuário deve prosseguir para a seção **Ferramentas de Medidas - Medidas Verticais** e clicar no botão






, gerando uma linha horizontal na origem da cena e uma sequência de linhas verticais dessa linha até os dentes marcados, permitindo controlar numericamente as movimentações cirúrgicas, especialmente no sentido vertical. As linhas e medidas podem ser escondidas clicando no botão



. (MORAES, 2018).

A sessão **Cinemática** determina o roteiro do pré e pós-operatório virtual, determinando na linha de tempo as posições inicial e final dos fragmentos osteotomizados. Inicialmente, a linha de tempo deve ser configurada em sua caixa específica na porção inferior da interface, iniciando em 1 e com final 101



. A posição inicial dos fragmentos, sem alteração, é gravada no ponto inicial da linha do tempo, clicando no botão Início e em seguida, no botão da claquete  Start  End . O usuário, então, clica no botão Final e faz todas as movimentações desejadas, para só então clicar novamente no botão da claquete. Assim, ficam registradas as posições inicial e final, permitindo que a posição dos fragmentos seja controlada pela linha de tempo.

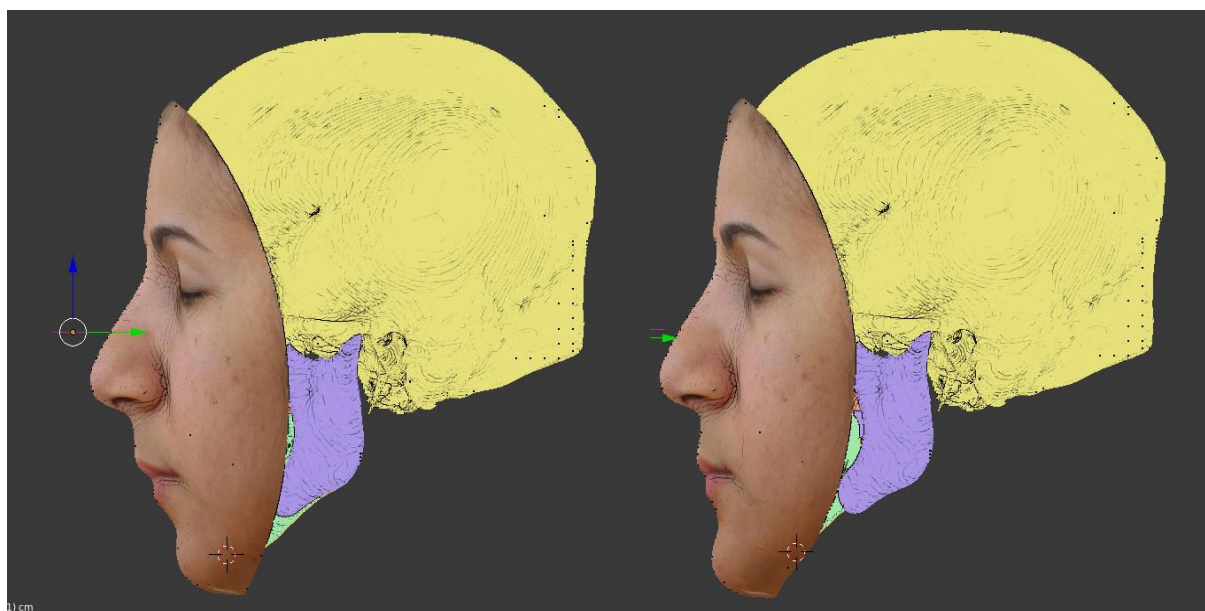


Figura 11. Simulação de avanço mandibular na imagem à direita (exagerado para fins ilustrativos). A armadura mostrada na figura anterior permite que a movimentação dos segmentos influencie os tecidos moles em tempo real, facilitando a discussão do caso com o paciente ou com o ortodontista.

O último passo é representado pela seção **Criação do Splint**. No botão Cria Splint, o guia cirúrgico é gerado automaticamente tendo como referência os pontos anatômicos selecionados no passo anterior. Com a posição dos fragmentos escolhida na linha do tempo e criado o guia cirúrgico, clica-se no botão Booleana de Corte, que produzirá o objeto do guia cirúrgico. Selecionando-se o objeto, clica-se no botão Prepara Impressão 3D, que ajusta a malha para impressão; o último passo é a exportação do arquivo STL (botão Exporta STL) para uma pasta de escolha do usuário. Esse arquivo pode ser enviado para um prestador de serviços que realizará a impressão 3D do guia cirúrgico. (MORAES, 2018).

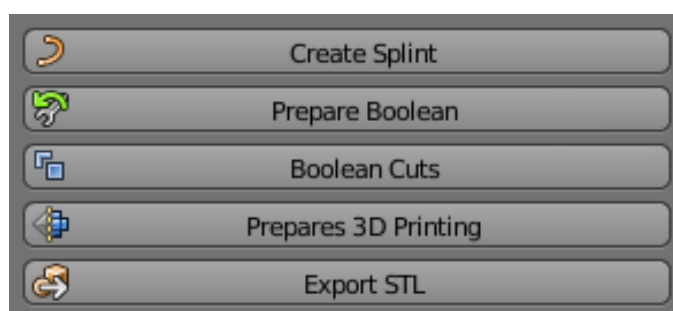


Figura 12. Diretório Criação do Splint.

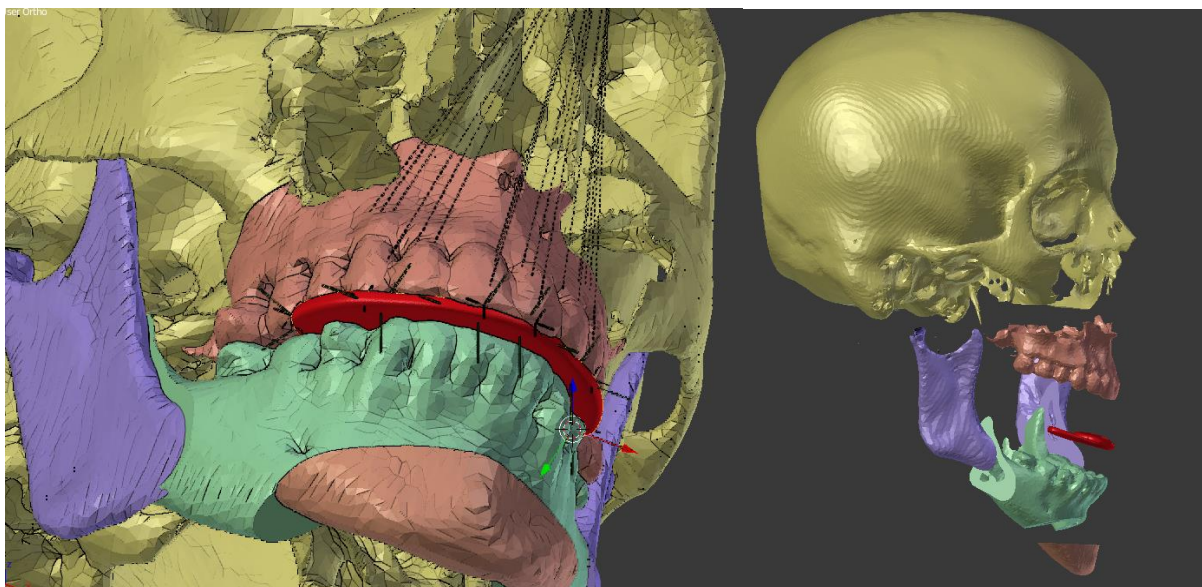


Figura 13. O add-on também permite a geração e exportação dos guias cirúrgicos em formato STL, credenciando-se como uma alternativa plausível aos softwares comercialmente disponíveis.

4 CONCLUSÃO

O add-on OrtogOnBlender oferece aos cirurgiões buco-maxilo-faciais uma ferramenta de planejamento virtual em cirurgia ortognática viável, de baixo custo e passível de customização pelo próprio usuário. Essas características favorecem sua utilização por mais usuários e promovem, portanto, seu crescimento e evolução continuados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUL-HOSN CENTERO, S.; HERNÁNDEZ-ALFARO, F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results – our experience in 16 cases. **J Craniomaxillofac Surg**, v. 40, n. 2, p. 162-8, 2012.

ARNETT, G. W.; BERGMAN, R. T. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning--Part II. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 103, n. 5, p. 395-411, May 1993a.

_____. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part I. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 103, n. 4, p. 299-312, Apr 1993b.

ARNETT, G. W.; MCLAUGHLIN, R. P. **Facial and dental planning for orthodontists and oral surgeons**. St. Louis (MO): Mosby, 2004. 320 p.

BOBEK, S. L. Applications of navigation for orthognathic surgery. **Oral Maxillofac Surg Clin North Am**, v. 26, n. 4, p. 587-98, 2014.

BORBA, A. M.; HAUPT, D.; de ALMEIDA ROMUALDO, L. T.; da SILVA, A. L.; da GRAÇA NACLÉRICO-HOMEM, M. et al. How many oral and maxillofacial surgeons does it take to perform virtual orthognathic surgical planning? **J Oral Maxillofac Surg**, v. 74, n. 9, p. 1807-26, 2016

BURKHARD, J. P. DIETRICH, A. D.; JACOBSEN, C.; ROOS, M. et al. Cephalometric and three-dimensional assesment of the posterior airway space and imaging software reliability analysis before and after orthognathic surgery. **J Craniomaxillofac Surg**, v. 42, n. 7, p. 1428-36, 2014.

CHIN, S. J.; WILDE, F.; NEUHAUS, M.; SCHRAMM, A. et al. Accuracy of virtual surgical planning of orthognathic surgery with aid of CAD/CAM fabricated surgical splint-A novel 3D analyzing algorithm. **J Craniomaxillofac Surg**, v. 45, n. 12, p. 1962-1970, 2017.

COUSLEY, R. R.; TURNER, M. J. Digital model planning and computerized fabrication of orthognathic surgery wafers. **J Orthod**, v. 41, n. 1, p. 38-45, 2014.

DA COSTA MORAES, Cícero André. Digital 3D Orthognathic Surgery with the OrthogOnBlender addon BlenderNation. Disponível em: <http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt_br/OrtogOnBlender/#> Acesso em: 06 de agosto de 2018.

EPKER, B. N.; TURVEY, T.; FISH, L. C. Indications for simultaneous mobilization of the maxilla and mandible for the correction of dentofacial deformities. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 54, n. 4, p. 369-81, Oct 1982.

GIL, J. N.; CLAUS, J. D. **Estética facial – a cirurgia ortognática passo a passo para ortodontista e cirurgiões**. São Paulo: Santos, 2009. 297 p.

GREGORET, J. et al. **Ortodontia e cirurgia ortognática: diagnóstico e planejamento**. São Paulo: Santos, 1999. 520 p.

GROSS, B. D.; JAMES, R. B. The surgical sequence of combined total maxillary and mandibular osteotomies. **J Oral Surg**, v. 36, n. 7, p. 513-22, Jul 1978.

HATAMLEH, M.; TURNER, C.; BHAMRAH, G.; MACK, G. et al. Improved virtual planning for bimaxillary orthognathic surgery. **J Craniofac Surg**, v. 27, n. 6, p. 568-73, 2016.

HERMÁNDEZ-ALFARO, F.; GUIJARRO-MARTINEZ, R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. **Int J Oral Maxillofac Surg**, v. 42, n. 12, p. 1547-56, 2013.

KIM, D. S.; WOO, S. Y.; YANG, H. J.; HUH, K. H. et al. An integrated orthognathic surgery system for virtual planning and image-guided transfer without intermediate splint. **J Craniomaxillofac Surg**, v. 42, n. 8, p. 2010-7, 2014.

KIM, J. H.; PARK, Y. C.; YU, H. S.; KIM, M. K. et al. Accuracy of 3-dimensional virtual surgical simulation combined with digital teeth alignment: A pilot study. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 75, n. 11, p. 2441-13, 2017.

KUO, T. H.; WONG, T. Y.; WU, T. C.; FANG, J. J. Optical tracking-based model surgery for orthognathic surgical planning using a quantifying evaluation method. **IEEE Trans Inf Technol Biomed**, v. 16, n. 6, p. 1193-9, 2012.

KUSNOTO, B. Two-dimensional cephalometry and computerized orthognathic surgical treatment planning. **Clin Plast Surg**, v. 34, n. 3, p. 417-26, Jul 2017

LABANC, J. P.; TURVEY, T.; EPKER, B. N. Results following simultaneous obilization of the maxilla and mandible for the correction of dentofacial deformities: nalysis of 100 consecutive patients. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 54, n. 6, p. 607-12, Dec 1982.

LI, Y.; JIANG, Y.; ZHANG, N.; XU, R.; HU, J. et al. Clinical feasibility and efficacy of using virtual surgical planning in bimaxillary orthognathic surgery without intermediate splint. **J Craniofac Surg**, v. 26, n. 2 p. 501-5, 2015.

LIN, H. H.; LO, L. J. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: a literature review. **J Formos Med assoc**, v. 114, n. 4, p. 300-7, 2015.

LOPES CRUZ, Ricardo. A História da Cirurgia Craniofacial no Brasil e no Mundo. Disponível em: <<http://www.abccmf.org.br/sbcc/hist/historia1.html/>> Acesso em: 7 de setembro de 2018.

NILSSON, J.; RICHARDS, R. GG.; THOR, A.; KAMER, L. Virtual bite registration using intraoral digital scanning, CT and CBCT: In vitro evaluation of a new method and its implication for orthognathic surgery. **J Craniomaxillofac Surg**, v. 44, n. 9, p. 1194-200, 2016.

POLLEY, J. W.; FIGUEROA, A. A. Orthognathic positioning system: itraoperative system to transfer virtual surgical plan to operating field during orthognathic surgery. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 71, n. 5, 911-20, 2013.

PROFFIT, W. R.; WHITE, R. P.; SARVER, D. M. **Contemporary treatment of dentofacial deformity**. St. Louis (MO): Mosby, 2003. 1927p.

REYNEKE, J. P. **Essentials of orthognathic surgery**. Chicago: Quintessence, 2003. 312 p.

RUVO, A. T.; SCULLY, J. R.; VANDERSEA, B. A. Model surgery. In: TURVEY, T. A.; SCULLY, J. R., *et al* (Ed.). **Oral and Maxillofacial Surgery, Volume III - Orthognathic surgery, esthetic surgery, cleft and craniofacial surgery**, Saint Louis: Saunders Elsevier, 2009. cap. 16, p. 364-371.

SHAFI, M. I.; AYOUB, A.; JU, X.; KHAMBAY, B. The accuracy of three-dimensional prediction planning for the surgical correction of facial deformities using Maxilim. **Int J Oral Maxillofac Surg**, v. 42, n. 7, p. 801-6, 2013.

SHAHEEN, E.; SUN, Y.; JACOBS, R.; POLITIS, C. Three-dimensional printed final occlusal splint for orthognathic surgery: design and validation. **Int J Oral Maxillofac Surg**, v. 46, n. 1, p. 67-71, 2017.

SOLABERRIETA, E.; MÍNGUEZ, R.; BARRENETXEA, L.; OTEGI, JR. *et al*. Comaparison of the accuracy of a 3-dimensional virtual method and the conventional method for transferring the maxillary cast to a virtual articulator. **et Dent**. v.113, n. 3, p. 191-7, 2015.

STOKBRO, K.; AAGAARD, E.; TORKOV, P.; BELL, R. B. *Et al* Surgical accuracy of three-dimensional virtual planning: a pilot study of bimaxillary orthognathic procedures including maxillary segmatation. **Int J Oral Maxillofac Surg**, v. 45, n. 1, p. 8-18, 2016.

SWENNEN, G. R. Timing of three-dimensional virtual treatment palnning of orthognathic surgery: a prospective single-surgeon evaluatio on 350 consecutive cases. **Oral Maxillofac Surg Clin North Am**, v. 26, n. 4, p. 475-85, 2014.

TERZI, A.; SCHOUMAN, T.; SCOLOZZI, P. Accuracy of morphological simulation for orthognathic surgery. Assesment of a 3D image fuison software. **Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale**, 2013.

TUCKER, M. R.; WHITE, R. P. Combining surgical procedures in the mandible and maxilla. In: PROFFIT, W. R.; WHITE, R. P., *et al* (Ed.). **Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity**. Saint Louis: Mosby, 2003. cap. 11, p.345-356.

TURVEY, T. Sequencing of two-jaw surgery: the case for operating on the maxilla first. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 69, n. 8, p. 2225, Aug 2011.

UECHI, J.; TSUJI, Y.; KONONNO, M.; HAYASHI, K.; SHIBATA, T. *et al*. Generation of virtual models for planning orthognathic surgery using a modified multimodal image fusion technique. **Int J Oral Maxillofac Surg**. v. 44, n. 4, p. 462-9, 2015.

VAN SICKELS, J. E. Combined maxillary and mandibular osteotomies. In: TURVEY, T. A.; SCULLY, J. R., *et al* (Ed.). **Oral and Maxillofacial Surgery, Volume III – Orthognathic surgery, esthetic surgery, cleft and craniofacial surgery**. Saint Louis: Saunders Elsevier, 2009. cap. 11, p.238-247.

VAN SICKELS, J. E.; RICHARDSON, D. A. Stability of orthognathic surgery: a review of rigid fixation. **Br J Oral Maxillofac Surg**, v.34, n. 4, p. 279-85, Aug 1996

WOLFORD, L. M.; GALIANO, A. A simple and accurate method for mounting models in orthognathic surgery. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 65, n. 7, p. 1406-9, Jul 2007.

WOLFORD, L. M.; HILLIARD, F. W.; DUGAN, D. J. **Surgical treatment objective - a systematic approach to the prediction tracing**. Saint Louis (MO): Mosby, 1985. 113 p.

WORMS, F. W. *et al*. Posttreatment stability and esthetics of orthognathic surgery. **Angle Orthod**, v. 50, n. 4, p. 251-73, Oct 1980.

WU, T. Y.; LIN, H. H.; LO, L. J.; HO, C. T. Postoperative outcomes of two-and three-dimensional planning in orthognathic surgery: A comparative study. **J Plast reconstr Aesthet Surg**, v. 70, n. 8, p. 1101-1111, 2017.

ZHANG, N.; LIU, S.; HU, Z.; HU, J. Accuracy of virtual surgical planning in two-jaw orthognathic surgery comparison of planned and actual results. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol**, v. 122, n. 2, p. 143-51, 2016.

ZIZELMANN, C.; HAMMER, B.; GELLRICH, N. C.; SCHWESTKA-POLLY, R. *et al*. An evaluation of face-bow transfer for the planning of orthognathic surgery. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 70, n. 8, p. 1944-50, 2012.